

文章编号: 1006-2467(2007)11-1811-05

面向服务机器人的简易编程环境设计

张小冰^a, 陈卫东^a, 曹其新^b

(上海交通大学 a. 电子信息与电气工程学院; b. 机械与动力工程学院, 上海 200240)

摘要: 开发了一套面向服务机器人的简易编程环境. 利用此环境可以绘制机器人作业环境的地图, 使用图标进行可视化的编程, 并对机器人的运行进行二维和三维动画仿真. 编程环境模块间采用 CORBA 标准通信, 功能独立的各模块可以分布在网络中不同的计算机上, 也易于移植到其他编程平台. 在双臂移动式服务机器人 Smart Pal 上的演示实验表明, 此编程环境是有效的.

关键词: 服务机器人; 简易编程; 图形化编程

中图分类号: TP 242 **文献标识码:** B

The Design of Easy Programming Environment for Service Robots

ZHANG Xiaobing^a, CHEN Weidong^a, CAO Qixin^b

(a. School of Electronic, Information and Electrical Eng. ;

b. School of Mechanical Eng. , Shanghai Jiaotong Univ. , Shanghai 200240 , China)

Abstract: This paper introduced an easy programming environment for service robots that can be used to draw the working space map for robots, write robot program using icons, and execute and evaluate the program in 2D or 3D graphical simulation interface. The icon-based flowchart programming style enables ordinary users to program robots in more convenient and intuitive way. The synchronization mechanism based on blackboard pattern ensures the programming for multi-robot cooperation. The modules in the environment communicate with each other using CORBA standard, so the independent modules can run on multiple computers via network and be easily transplanted to other programming platform. The demonstration experiments on the dual-arm mobile service robot Smart Pal prove the validity of this programming environment.

Key words: service robot; easy programming; graphical programming

近年来,机器人的应用从工业领域扩展到服务领域. 服务机器人逐渐地进入普通人的生活,这就需要提供简易、友好的机器人编程系统,使得不具备或具备很少专业知识的用户也能方便地给机器人编程^[1]. 基于图标的图形化编程可提供直观的编程界面,部分满足了这方面的需求. 其流程图式的编程结

构消除了文本编程可能引起的语法错误,从而降低学习门槛,提高编程效率.

图形化的编程方式在众多领域有广泛的应用. 有 NI 的虚拟仪器软件 Labview, Mathworks 公司的 MATLAB/Simulink, UML (Unified Modelling Language) 等. 许多公司如 Microsoft, Sun 等也推出

收稿日期: 2006-11-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60475032)

作者简介: 张小冰 (1982-), 男, 山东滨州人, 硕士, 主要研究方向为服务机器人. 陈卫东 (联系人), 男, 教授, 博士生导师, 电话 (Tel.): 021-34204302; E-mail: wdchen@sjtu.edu.cn.

了针对 C++、Basic、Java 等高级语言的图形化编程环境。在机器人领域, AMIRA (Advanced Man Machine Interfaces for Robot System Applications)^[2] 针对工业机器人控制程序的编程规格, 提出了基于触摸屏和语音输入的工业机器人图标编程接口设计规范。LEGO 公司的基于图标的编程系统在儿童和成人教育领域获得了广泛的应用^[3]。

本文将图形化编程和地图编辑、路径规划及机器人运行仿真结合为一体, 为服务机器人提供了完整的编程环境。利用此环境, 用户可以绘制机器人作业环境的地图, 使用图标进行可视化的编程, 并对机器人的运行进行二维和三维动画仿真。在安川电机株式会社研制的双臂移动式服务机器人 Smart-Pal^[4] 上进行的演示实验表明, 此编程环境适用于家庭、医院、实验室等结构化环境中的服务机器人系统。

1 编程环境设计与实现

如图 1 所示, 整个编程环境分为 3 个模块: 地图编辑和路径规划软件、图形化编程软件以及机器人仿真器。各部分功能如下:

(1) 地图编辑和路径规划软件。用于创建机器人运行的室内环境。支持创建平面几何地图和拓扑地图, 并提供基于拓扑地图的路径规划功能。

(2) 图形化编程软件。它是编程环境的主体, 提供基于图标的机器人图形化编程功能。提供程序管理、程序编辑、程序运行测试等功能。支持基于图标的图形化编程, 使用图标表示机器人指令, 使用图标间的连线表示图标指令间的逻辑关系; 支持多机器人同步; 支持变量监视和虚拟传感器数据监视。

(3) 机器人仿真器。包括二维和三维仿真器。二维仿真器用于接收图形化编程软件提供的机器人平面位置信息并实时刷新显示, 支持虚拟传感器, 并实时发送虚拟传感器数据到图形化用户界面。三维仿真器用于接受并显示图形化编程软件发送的机器人手臂关节信息, 并提供碰撞检测功能。

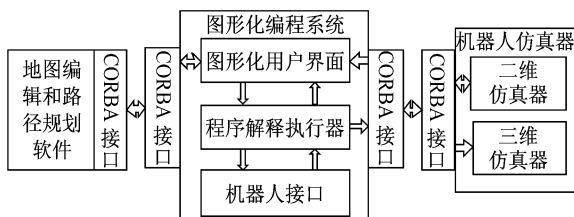


图 1 系统结构

Fig. 1 System architecture

各模块均是具有独立功能的软件, 模块间通信遵循 CORBA 标准。基于 CORBA 通信可实现平台无关、编程语言无关、以及网络传输协议无关的互操作^[5]。因此, 3 个模块可以分别运行在网络中不同的主机上, 也可以使用不同的语言编写。

1.1 图形化编程软件

图形化编程软件提供基于图标的机器人图形化编程。编程软件使用图标表示机器人指令, 使用图标间的连线表示图标指令间的逻辑关系。图形化编程软件采用 Java 语言编写, 使用 Java 的 Graphics2D 技术绘制图标间连线, 使用 Java 的 Swing 类库构建图形化界面和图标。

1.1.1 图形化用户界面 用户界面提供了用户完成整个编程任务所需的所有功能, 包括程序管理(创建、删除、拷贝、粘贴、重命名)、程序编辑(打开、保存、编辑)、程序运行状态监视(变量监视、传感器数据监视)。图标面板采用图 2 所示的弹出式面板, 有效节省面板占用面积, 保持界面的整洁。



图 2 弹出式图标面板

Fig. 2 Pop-out style icon panel

图标和连线是图形化编程软件的基本编程元素, 图标元素的设计原则如下:

(1) 可扩展性。程序控制类图标与机器人无关, 可控制任何机器人。系统根据不同的机器人解释执行程序。用户也可定义具有简单参数的图标, 扩展图标库。

(2) 可理解性。图标采用文字标签, 易于理解。利用 Java assistive technology, 对图标添加文本提示, 帮助用户理解图标的功能。

(3) 代码重用性。用户编辑的具有特定功能的程序可以创建为用户图标, 在其他程序中使用。应用类图标面板中的子程序图标支持用户代码的重用。

(4) 集结性。显示屏的实际状态也是图形化编程的一种限制因素, 称为“Deutsch 限制”。图形化编程的问题是整个屏幕上不能同时出现超过 50 个的图形元素^[3]。针对这种限制, 本编程软件从图标的设计方面来解决这个问题。集结性就是多个图标可以集结成一个图标显示的方式。该图标的功能与多个图标的组合功能相同。应用(Application)面板中的

集结类图标部分解决了这一问题,通过提供功能强大的路径规划图标、子程序图标,使得程序所需的图标量减少,保持界面的简洁。

图标分为程序控制、IO、动作指令、应用 4 大类。程序控制主要是提供通用编程语言(C++、Java)的程序流程控制功能图标(分支、循环等),以及标示程序开始、结束、机器人 ID 的图标。IO 操作主要包括变量、环境交互(开关门和电梯等)等。动作指令根据不同的机器人会有不同的列表,目前主要为 SmartPal 双臂移动式服务机器人的机械臂、抓手、灵巧手及基座的运动控制图标。应用类图标包括集结图标和其他应用图标(变量运算等),集结图标可以分解为其他类型图标的组合。

1.1.2 程序解释执行器 程序解释执行器负责解释并执行用户在图形化界面编辑的图标程序,根据机器人类型调用对应的机器人接口,控制机器人运行。

Interpreter 线程负责遍历具有图结构的图标程序,解释控制程序流程的图标、功能图标,操作 IO 和变量。解释函数采用递归的方法,以程序中的 Robot ID 图标为入口,检查图标类型,若是程序流程类型图标,调用此类型的图标解释函数;若是动作类型图标,将图标发送到 Executer,由 Executer 查表调用机器人接口控制机器人运行;若是集结类型图标,取得其内部组合图标的初始图标,并以此作为参数调用解释函数;其他功能类(变量操作等)图标则运行该类的功能操作函数。函数流程图如图 3 所示。

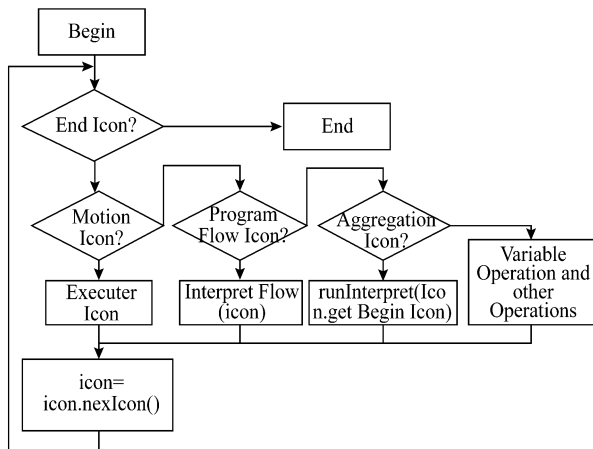


图 3 解释函数流程图

Fig. 3 Flowchart of the interpreter

Interpreter 线程还包括程序流程类型图标的解释函数,此函数采用间接递归的方法,判断并调用 Interpreter 中各个程序流程类图标的解释函数。

编程软件采用边解释边执行的模式。程序执行时,将启动两类线程:Interpreter 线程用于搜索执行

程序,同步各机器人,发送数据到 2D 仿真器;另一类用于检测虚拟传感器是否打开,若打开,定时从 2D 仿真器获取虚拟传感器数据,并显示。

Interpreter 调用执行器 Executer 查表执行动作类图标,向机器人接口发送对应接口的参数并从机器人接口得到机器人的运行状态,然后将运行状态发送到机器人仿真器,仿真器刷新显示机器人的位置和关节信息。执行器与其他模块的关系如图 4 所示。

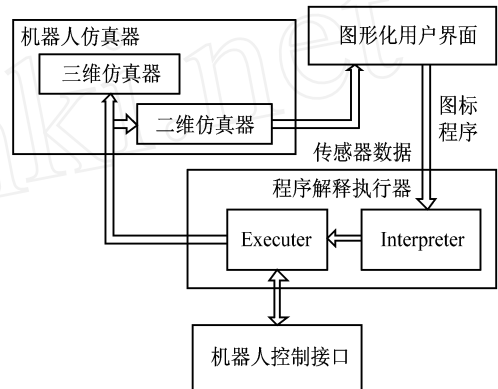


图 4 执行器工作示意图

Fig. 4 Diagram of the executor

1.1.3 多机器人同步机制 此编程环境主要是针对安川电机株式会社研制的双臂移动式服务机器人 SmartPal 开发的。SmartPal 机器人具有 2 个七自由度的手臂,配置 2 个三指九自由度灵巧手,1 个二维平面移动平台,以及碰撞、测距传感器和视觉系统。SmartPal 服务机器人的基座、左右臂分别对应一个控制器,SmartPal 可以看作是 1 个移动机器人和 2 个机械臂的组合。其程序执行时需要启动对应 3 个机器人的 3 个 Interpreter 线程,这就需要引入同步机制协调机器人的动作。图形化编程软件使用 Node 图标作为标记同步的节点,Node 图标需要设置序号(名称)和时间 2 个参数。编程软件采用黑板结构模式(Blackboard Architectural Pattern)^[6]同步机器人的基座和手臂动作,保证机器人任务的协调完成。

程序运行时,编程软件维护一个黑板对象,黑板对象保存整个程序中所有 Node 图标以及该 Node 图标同名数。Interpreter 作为黑板模式中的知识源和控制器,定义为黑板系统的主体。Interpreter 线程执行到 Node 图标时,暂停,向黑板发送搜索到 Node 的名称,并注册为黑板对象中该名称 Node 图标同步事件的接受者,黑板对象记录已经注册的同名 Node 图标数量,若注册数量和图标同名数相等,就触发该 Node 图标的同步事件。注册此事件的 Interpreter 继续执行,并分别等待自身注册 Node 图标所指定的时间。

1.2 地图编辑及路径规划软件

1.2.1 地图编辑 地图编辑器用来绘制 SmartPal 机器人运行的多层室内平面环境. 它可以同时编辑几何地图(见图 5)和拓扑地图(见图 6). 地图编辑器提供绘制室内环境所需的各种地图元素, 几何地图编辑环境下, 用户可以图形化地向环境中添加地图元素. 地图元素的属性如位置、大小等由用户自由指定. 地图元素包括: 墙壁、桌子、门、电梯、障碍物等. 拓扑地图上用户添加拓扑点和连接线, 每个拓扑点可设置机器人在该点的朝向, 连接线设置机器人运行在此路径上的行进速度.

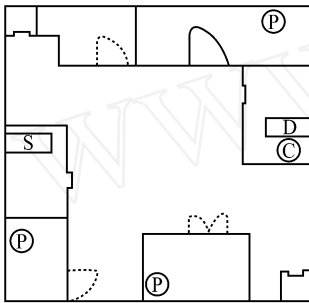


图 5 几何地图

Fig. 5 Metric map

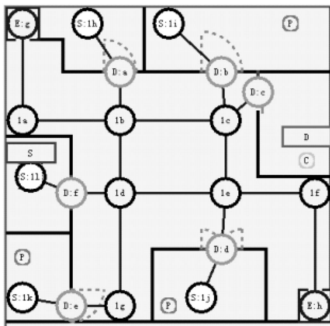


图 6 拓扑地图

Fig. 6 Topological map

1.2.2 路径规划 地图编辑及路径规划软件提供基于拓扑地图的路径规划接口. 图形化编程软件可以调用此接口规划机器人的行进路径. 路径规划采用 A* 算法. 编程软件可以调用此接口, 并根据规划结果生成对应的运动指令序列. 路径规划提供离线和在线两种规划.

(1) 离线规划. 此功能对应于在图形化编程软件中是 Path Planning 菜单. 用户输入路径规划的初始点、目标点以及中间点, 编程软件调用地图编辑及路径规划软件的离线规划接口, 得到路径规划的结果并生成对应的程序序列. 离线规划提供两种判断标准: 路径最短和时间最短. 此方法的缺点是一次规划, 不能对环境变化做出反应, 且起始点、目标点必

须是拓扑点.

(2) 在线规划. 对应于在编程软件中是在线规划图标. 机器人运行到该图标时, 计算出离机器人当前位置距离最近的拓扑路径, 发送拓扑路径信息及目标点到地图编辑及路径规划软件并得到规划的结果. 编程软件根据此结果控制机器人的运行. 此方法可在机器人运行时多次调用, 每次调用时路径规划接口可根据当前环境生成最优路径. 机器人初始点可以是地图上任意位置. 在线规划也提供两种判断标准: 路径最短和时间最短.

1.3 机器人仿真器

机器人仿真器有两部分: 二维仿真器和三维仿真器. 二维仿真器可以加载地图编辑软件生成的地图, 用于仿真机器人在地图环境中的运行状态. 二维仿真器支持虚拟传感器功能, 机器人运行时实时发送虚拟传感器数据到图形化编程软件. 三维仿真器采用 VRML 语言为机器人各部分建立三维模型, 然后在 Java3D 环境中按照真实机器人结构装配机器人. 三维仿真器接受图形化编程软件发送的机器人手臂关节信息, 用以更新 Java3D 环境中机器人各关节的转动, 并提供碰撞检测功能.

2 编程实例

SmartPal 机器人系统配置齐全, 作业能力强大, 对其开展编程环境的研究, 具有较高的典型性. 下面给出针对 SmartPal 机器人编程和仿真的实例. 机器人的任务设定为由某初始位置去一楼书架取书, 然后把书送到二楼的书房. 下面按照地图编辑、图形化编程、机器人仿真依次给出实例.

2.1 地图编辑

地图编辑器可以生成几何地图和拓扑地图. 用户在几何地图的基础上添加拓扑点和连接线形成拓扑地图. 拓扑地图中, 书架前添加机器人作业点, 机器人可以根据路径规划的结果移动到该处.

2.2 图形化编程

使用图标给机器人编程. 图 7 中的程序, 左、右边分支分别控制机器人左、右臂, 中间分支控制机器人的基座. 基座程序调用在线路径规划图标. 三维仿真器的控制面板(图 7 右上角)有示教盒功能, 将用户在仿真器中调整的机器人各关节角度传送到编程软件, 并作为机器人左、右臂动作图标的参数. 3 条分支程序使用 Node 图标同步, 当机器人根据路径规划的结果移动到书架前时, 再执行机器人手臂动作指令.

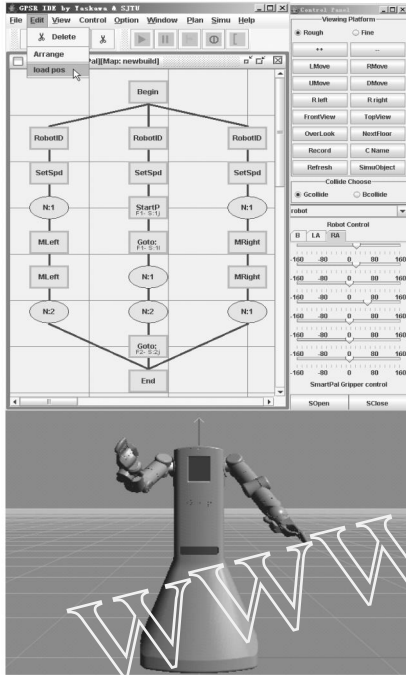


图 7 图形化编程

Fig. 7 Graphical programming

2.3 路径规划与机器人仿真实例

图 8 所示为机器人按照路径规划移动到书架前,仿真器显示的机器人状态.二维仿真器右下角显示机器人碰撞传感器的状态,左侧显示机器人在环境中的运行状况.各种传感器的数据由 CORBA 接口传送到图形化编程软件显示.三维仿真器目前只显示机器人自身的三维信息,还没有支持环境物体的显示,因此用户只能观察到机器人关节动作.

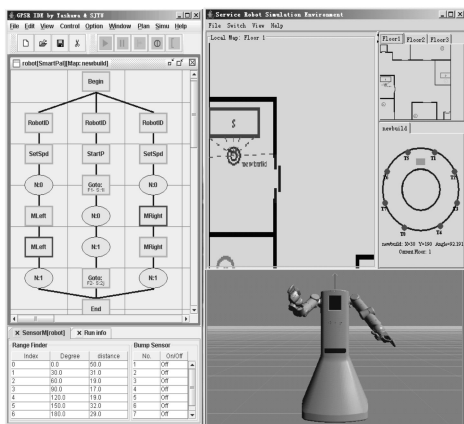


图 8 程序执行和机器人仿真

Fig. 8 Program execution and robot simulation

3 结 语

综上所述,本文简易编程环境系统架构支持如下特征:

(1) 模块化.编程环境分为功能不同的 3 个模

块,各模块可用不同的语言编写,也可分布在不同的机器上.

(2) 代码重用.各模块功能独立,可单独使用或与其他程序连接.

(3) 可移植和平台无关性.各模块目前均使用 Java 语言编写,可以很方便地移植到其他系统上,而不需要修改任何代码.

(4) 可扩展性.编程环境可根据需要配置新的模块,模块只需支持 CORBA 标准,符合相应的接口协议.

(5) 网络支持.编程环境支持 CORBA 标准,允许各模块通过网络交互且与网络协议无关.

图形化编程软件作为简易编程环境的主体,连接地图编辑及路径规划软件和机器人仿真器,实现了整个简易编程环境的有机整合,为用户提供了完整的环境编辑、图形化编程及机器人动画仿真的功能.此简易编程环境主要是针对安川电机株式会社研制的双臂移动式服务机器人 SmartPal 开发,其在 SmartPal 上进行的演示实验表明,此编程环境适用于家庭、医院、实验室等结构化环境中作业的服务机器人.编程环境易用性的提高,有利于服务机器人在非专业普通用户中的推广.

参考文献:

- [1] Biggs G, MacDonald B. A survey of robot programming systems [C]// Proc Australasian Conference on Robotics and Automation. Brisbane, Australia: [s. n.], 2003.
- [2] Kazi A, Seyfarth M. The MORPHA style guide for icon-based programming [C]// Proc 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication. Roman, Italy: [s. n.], 2002: 41 - 46.
- [3] Bagnall B. Core LEGO mindstorms programming [M]. NJ: Prentice Hall PTR, 2002.
- [4] Matsukuma K, Handa H, Yokoyama K. Vision-based manipulation system for autonomous mobile robot smartpal [C]// Proc Japan Robot Association Conference. Japan: Yaskawa Electric Corporation, 2004.
- [5] OMG. CORBA technology tutorials [DB/OL]. (2006) [2006-06-06]. <http://www.omg.org/getting-started/corbafaq.htm>.
- [6] Dong J, Chen S, Jeng J J. Event-based blackboard architecture for multi-agent systems [C]// Proc International Conference on Information Technology: Coding and Computing. Las Vegas, USA: [s. n.], 2005.